

## **Efecto Bioplaguicida de las Microalgas: Una Estrategia Sostenible contra *Botrytis cinerea***

Biopesticidal Effect of Microalgae: A Sustainable Strategy Against *Botrytis cinerea*

**Cristel Santamaría**

Universidad Autónoma de Chiriquí, Facultad de Ciencias Naturales y Exactas,  
Departamento de Química. Panamá.

[cristel.santamaria@unachi.ac.pa](mailto:cristel.santamaria@unachi.ac.pa) <https://orcid.org/0009-0000-6120-4224>

**Recepción: 10 de febrero de 2025**

**Aprobación: 15 de marzo de 2025**

**DOI:** <https://doi.org/10.48204/semillaeste.v5n2.6692>

### **Resumen**

Esta investigación exploró el potencial biofungicida de *Chlorella vulgaris* contra *Botrytis cinerea*. A través de una revisión sistemática, se determinó qué extractos de *C. vulgaris* contienen una variedad de compuestos bioactivos, principalmente flavonoides y ácidos grasos, que exhiben propiedades antifúngicas. Estos metabolitos secundarios interactúan con la membrana celular de *B. cinerea*, alterando su permeabilidad y desencadenando estrés oxidativo. Además, inhiben la producción de enzimas degradativas de la pared celular, como las pectinasas y celulasas, esenciales para la infección fúngica. Los flavonoides, en particular, actúan como quelantes de metales, reduciendo la disponibilidad de nutrientes esenciales para el patógeno. Los resultados sugieren que, los mecanismos de acción de estos compuestos bioactivos son multifacéticos y sinérgicos, lo que explica su eficacia en el control de *B. cinerea*. Sin embargo, se requieren estudios adicionales para optimizar la producción y formulación de bioplaguicidas a base de *C. vulgaris*, así como evaluar su impacto en ecosistemas agrícolas y su compatibilidad con otros productos de protección de cultivos.

**Palabras clave:** algas, biocontrol, bioplaguicida, hongo



## Abstract

This research explored the biofungicidal potential of *Chlorella vulgaris* against *Botrytis cinerea*. Through a systematic review, it was determined that extracts of *C. vulgaris* contain a variety of bioactive compounds, primarily flavonoids and fatty acids, which exhibit antifungal properties. These secondary metabolites interact with the cell membrane of *B. cinerea*, altering its permeability and triggering oxidative stress. Additionally, they inhibit the production of cell wall-degrading enzymes, such as pectinases and cellulases, which are essential for fungal infection. Flavonoids, in particular, act as metal chelators, reducing the availability of essential nutrients for the pathogen. The results suggest that, the mechanisms of action of these bioactive compounds are multifaceted and synergistic, explaining their efficacy in controlling *B. cinerea*. However, further studies are needed to optimize the production and formulation of *C. vulgaris* - based biopesticides, as well as to evaluate their impact on agricultural ecosystems and their compatibility with other crop protection products.

**Keywords:** aquatic plants, biocontrol, bioplaguicide, fungus

## INTRODUCCIÓN

Los plaguicidas químicos representan una grave amenaza para la salud humana y el medio ambiente. Estudios recientes, como el de Boedeker et al. (2020), revelan cifras alarmantes: se producen 385 millones de casos de intoxicación aguda no intencional por plaguicidas cada año, resultando en 11,000 muertes. Además, el estudio de Ordoñez-Beltrán (2019) señala que el 83% de los trabajadores agrícolas están expuestos frecuentemente a agroquímicos potencialmente cancerígenos.

Por otro lado, estos productos generan contaminación ambiental al acumularse en el suelo, el agua y los alimentos, afectando negativamente la fauna benéfica y los ecosistemas circundantes. El uso excesivo de plaguicidas también ha llevado al desarrollo de resistencia

en hongos y otros organismos, lo que reduce su eficacia y agrava el problema de control de plagas (Gabriel-Ortega et al., 2022).

En este estudio, se presenta a los bioplaguicidas derivados de *C. vulgaris* como una alternativa innovadora y sostenible a los plaguicidas químicos. Al reducir la dependencia de productos sintéticos, estos bioplaguicidas contribuyen a la protección del medio ambiente y la salud humana. Además, su eficacia en el control de plagas los posiciona como una herramienta valiosa para la agricultura sostenible, en línea con los hallazgos de Costa et al. (2019).

Por lo que ésta investigación aborda el potencial bioplaguicida de las microalgas ya que ha cobrado relevancia a nivel mundial. Estudios como los de Gonçalves (2021) y Bhattacharjee (2022) han destacado la capacidad de estos microorganismos para producir una amplia gama de metabolitos bioactivos. En Centroamérica, investigaciones recientes (Casanova et al., 2023) han revelado el papel de especies como *Chlorella vulgaris* en la producción de compuestos alelopáticos, ofreciendo una solución innovadora y sostenible para el manejo de plagas. Estos hallazgos subrayan la importancia de la investigación regional para identificar y aprovechar el potencial de las microalgas en diferentes ecosistemas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La búsqueda de alternativas sostenibles al uso de fungicidas químicos ha impulsado la investigación sobre el potencial de las microalgas como fuente de bioplaguicidas. Con el objetivo de evaluar la eficacia de estos productos en el control de *Botrytis cinerea*, se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura científica publicada entre 2018 y 2024. Se prestó especial atención a los estudios que evaluaron la eficacia de bioplaguicidas a base de microalgas del género *Chlorella*. Los resultados de esta revisión permitirán identificar las especies de microalgas más prometedoras, los mecanismos de acción involucrados, así como las mejores prácticas para su formulación y aplicación en campo. Además, se discutirán las limitaciones de los estudios actuales y las futuras líneas de investigación necesarias para optimizar el uso de bioplaguicidas a base de microalgas en la agricultura.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### **Producción de biomasa microalgal y su aplicación en bioplaguicidas**

Las microalgas son microorganismos fotosintéticos de gran diversidad, con más de 30.000 especies descritas (Otálora et al., 2021). Cada célula de microalga es fotoautotrófica, absorbe directamente los nutrientes y fija CO<sub>2</sub>, generando una alta producción de biomasa (Chai et al., 2021). Sin embargo, a pesar de esta diversidad, menos de 20 especies se explotan comercialmente. Su clasificación es compleja debido a la amplia variedad de pigmentos, productos de almacenamiento y características ultraestructurales como el tamaño (Correa et al., 2017). Esta diversidad metabólica y su capacidad de adaptarse a diversos ambientes las convierten en organismos de gran interés para diversas aplicaciones biotecnológicas

No obstante, una vez obtenida la cepa de microalga de interés, el siguiente paso es su cultivo a gran escala para producir biomasa. Las microalgas, con su gran diversidad metabólica y capacidad de adaptación, pueden cultivarse en diversos sistemas. Los métodos de cultivo de las microalgas para la producción de biomasa son diversos y pueden clasificarse en dos categorías principales: sistemas abiertos y sistemas cerrados. Los sistemas abiertos, como los estanques raceway y los estanques circulares, son los más tradicionales y económicos. Por otro lado, los sistemas cerrados, como los fotobiorreactores de columna, tubulares y de placa plana, ofrecen un mayor control sobre las condiciones de cultivo y permiten una mayor densidad celular. Estos últimos incluyen también tecnologías más innovadoras como los fotobiorreactores de membrana y de estado sólido (Zuccaro, 2020).

Una vez que la biomasa microalgal es obtenida a través de cultivos controlados, esta se convierte en una materia prima valiosa para la producción de bioplaguicidas. Estos productos biológicos, desarrollados a partir de diversas fuentes como algas, cianobacterias y hongos micorriza, ofrecen una alternativa más sostenible y eficaz en el manejo integrado de plagas.



Su uso en agricultura no solo protege los cultivos, sino que también reduce el impacto ambiental asociado al uso de pesticidas químicos (Hezakiel et al., 2023; Kumar et al., 2021).

La actividad antifúngica de las microalgas ha sido demostrada en diversos estudios. Bratchkova y Kroumov (2020) identificaron ácido butanoico y lactato de metilo como compuestos responsables de inhibir el crecimiento de hongos como *Saccharomyces cerevisiae* y *Candida albicans*. Por otro lado, Asimakis et al. (2022) mostraron que extractos de microalgas protegieron a plantas de tomate de patógenos como *Sclerotinia sclerotiorum*, *Verticillium dahliae* y *Botrytis cinerea*.

La diversidad de hongos inhibidos y la amplia gama de compuestos bioactivos involucrados, incluyendo oligosacáridos, polisacáridos, ácidos fenólicos y otros (Asimakis et al., 2022; Yu et al., 2022; Meena y Samal, 2019), subrayan el potencial de las microalgas como fuente de nuevos antifúngicos naturales.

### ***Botrytis cinerea*: un patógeno de interés agrícola**

La *Botrytis cinerea*, constituye una amenaza significativa para la producción agrícola a nivel mundial. Este hongo patógeno, comúnmente conocido como moho gris, posee una amplia gama de hospedantes, infectando desde frutos y flores hasta tallos y hojas de numerosas especies cultivadas. Su capacidad para sobrevivir en condiciones ambientales adversas y su eficiente maquinaria de infección lo convierten en un desafío constante para los agricultores. Las pérdidas económicas causadas por la podredumbre gris son considerables, afectando tanto la calidad como la cantidad de los cultivos, y generando importantes pérdidas postcosecha (Shmid et al., 2022).

Asimismo, la virulencia de la *Botrytis cinerea* se sustenta en una combinación de factores que le permiten colonizar los tejidos vegetales y causar enfermedad. Este hongo produce una amplia gama de enzimas degradativas que descomponen las paredes celulares de las plantas, facilitando su penetración y colonización. Además, sintetiza toxinas como el botridial y la botcinina, que dañan los tejidos vegetales y suprimen las defensas de la planta. La capacidad

de *B. cinerea* para manipular los procesos celulares de la planta, como la muerte celular programada, le permite establecer una infección exitosa y propagarse rápidamente a través de los tejidos del hospedante (Bi et al., 2023).

Como resultado la *Botrytis cinerea* ha desarrollado una amplia gama de estrategias para infectar y colonizar sus hospedantes. Entre estas, destaca la secreción de proteínas efectoras como BcCrh4, una transglicosilasa que induce la muerte celular vegetal de manera independiente de su actividad enzimática y sin requerir la participación de quinasas (Liang et al., 2024). Otros efectores, como las xilanasas BcXyl1 y BcXYG1, son reconocidos por receptores vegetales y desencadenan una respuesta de muerte celular mediada por quinasas (Ron y Avni, 2004; Zhu et al., 2017; Yang et al., 2018). Esta diversidad de mecanismos de patogenicidad subraya la complejidad de la interacción entre este hongo y sus hospedantes.

La interacción entre *B. cinerea* y la planta es un proceso dinámico y complejo, caracterizado por una constante coevolución. El hongo secreta un arsenal de proteínas efectoras, como las transglicosilasas y las xilanasas, que manipulan diversos procesos celulares de la planta, incluyendo la muerte celular programada, la respuesta inmune y el transporte de nutrientes. Por su parte, las plantas han desarrollado una amplia gama de mecanismos de defensa, como la producción de fitoalexinas, la activación de receptores de reconocimiento de patrones y la formación de estructuras de refuerzo en la pared celular. La efectividad de estos mecanismos de defensa depende en gran medida de la rapidez y eficiencia con la que la planta pueda detectar y responder a los ataques del patógeno (Bi et al., 2023; Ahmed & Kovich, 2021).

En consecuencia, la interacción entre *Botrytis cinerea* y las microalgas revela un complejo mecanismo de defensa en el cual los flavonoides desempeñan un papel protagónico. Estos compuestos bioactivos, presentes en diversas especies de microalgas, ejercen una amplia gama de efectos antifúngicos sobre *B. cinerea*. Al interactuar con la membrana celular, las mitocondrias y la pared celular del hongo, los flavonoides pueden inhibir procesos esenciales como la división celular, la síntesis de proteínas y el sistema de bombeo mediado por flujo, lo que debilita las defensas naturales del hongo (Al & Mickymaray, 2020; Goiris, 2014).

### **Estrategias antioxidantes como vía de control fúngico**

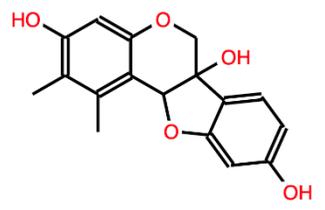
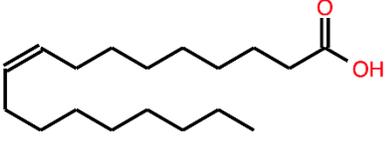
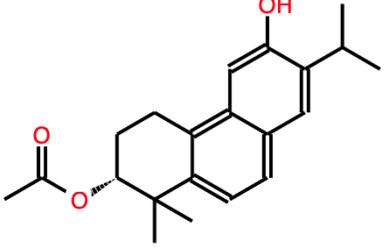
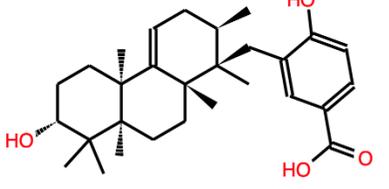
Existen compuestos capaces de inactivar enzimas clave implicadas en la patogenicidad del hongo, como la pectinasas, celulasas y lacasas, al unirse a sus sitios activos, impidiendo así la degradación de la pared celular vegetal y la colonización del tejido vegetal. Entre los flavonoides con actividad antifúngica destacada se encuentran el ácido p-cumárico, la naringenina, la quercetina, la daidzeína y la apigenina, entre otros. Estos compuestos bioactivos representan una alternativa prometedora a los fungicidas sintéticos, ofreciendo un enfoque más sostenible y seguro para el control de enfermedades fúngicas en cultivos (Al & Mickymaray, 2020; Goiris, 2014).

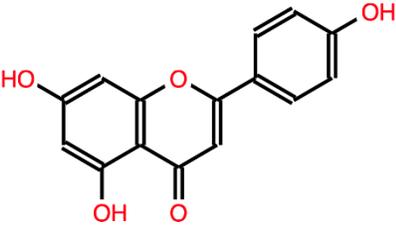
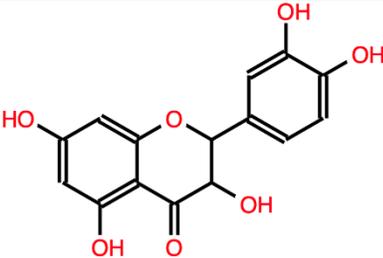
De la misma manera los ácidos grasos, especialmente aquellos generados por reacciones enzimáticas como la catalizada por la oxigenasa, han demostrado un notable potencial antifúngico. Estos compuestos lipídicos pueden dañar la integridad de la membrana fúngica, liberando componentes celulares vitales (Fernández-San et al., 2022). Estudios recientes han revelado que ácidos grasos como el decanoico, octanoato de sodio, hexanoico, oleico, linolénico y sus derivados son efectivos contra hongos fitopatógenos como *Botrytis cinerea*, *Colletotrichum nymphaeae* y otras especies de *Colletotrichum* (Robles-Yerena et al., 2022; Azadeh, 2021). La diversidad estructural de los ácidos grasos, incluyendo los saturados, insaturados y sus derivados hidroxilados, les confiere una amplia gama de mecanismos de acción, lo que los convierte en prometedores agentes de control biológico.

Así como los ácidos grasos pueden generar un efecto bioplaguicida, hay otros compuestos (Tabla 1) que presentan propiedades inhibitorias contra los patógenos, como es el Ambigol C que es un compuesto aromático extraído de la microalga *Fischerella ambigua* (Chauhan et al., 2022 & Llopiz, 2016), además ellos mencionan que el Ambigol A y B, también responden a propiedades alelopáticas .

**Tabla 1.**

*Compuestos bioactivos extraído de las microalgas con efectos potenciales de inhibición patogénica.*

Compuesto	Capacidad	Estructura	Referencias
Ambigol C	Antifúngico Antibacterial Antibiótico		(Chauhan <i>et al.</i> , 2022), (Llopiz, 2016)
Fitoalexinas (Glisinol)	Antiviral Antifúngico		Dos <i>et al.</i> , 2022
Ácido oleico	Antifúngico Anticancerígeno Analgésico Antiinflamatorio		(Tipaz-Tipaz, 2019)
Norbietano	Antibiótico		(Llopiz, 2016)
Noscomina	Antibiótico Antimicrobiana		(Llopiz, 2016) (Mendoza, 2024)

Apigenina	Antioxidante		(Salehi <i>et al.</i> , 2019)
Quercetina	Antioxidante Anticancerígeno Antiviral Antifúngico		(Vicente-Vicente & Prieto, 2013) (Patlán, 2017).

Es relevante mencionar que las microalgas producen compuestos conocidos como fitoalexinas, los cuales han demostrado su capacidad para controlar patógenos en cultivos como el trigo, el tomate y el tabaco. Además, estas fitoalexinas también son producidas por diversas plantas, como la soya, con el objetivo de evitar y repeler patógenos (Dos et al., 2022). En este sentido, se ha evaluado la capacidad antifúngica del ácido oleico en cepas de *Fusarium solani* y *Candida albicans* (Tipaz-Tipaz, 2019), así como de otros compuestos como el norbietano y la noscomina, dos antibióticos presentes en las microalgas. Estos últimos provienen del sistema del fenantreno, lo que resalta su potencial como agentes antimicrobianos (Llopiz, 2016; Mendoza, 2024).

Por otro lado, la apigenina y la quercetina, dos antioxidantes polifenólicos con estructuras similares, han sido ampliamente estudiadas en verduras, frutas, hierbas y bebidas de origen vegetal. Cabe destacar que la quercetina, en particular, ha mostrado un gran potencial frente a *Botrytis cinerea* en uvas, lo que refuerza su relevancia en el contexto de los tratamientos antifúngicos (Vicente-Vicente; Prieto, 2013; Patlán, 2017).



Es importante señalar que todos estos compuestos contienen grupos OH (Tabla 1), lo que los posiciona como excelentes opciones para actuar como antioxidantes, gracias a su estructura química y propiedades intrínsecas. Para comprender mejor su notable capacidad antioxidante, es necesario entender tres aspectos clave: la transferencia de un átomo de hidrógeno, la formación de enlaces de hidrógeno y la resonancia electrónica.

Los mecanismos antioxidantes de las moléculas, como la transferencia de átomos de hidrógeno, la formación de enlaces de hidrógeno y la resonancia electrónica, desempeñan un papel crucial en su acción antifúngica al interferir en procesos esenciales para la supervivencia de hongos como *Botrytis cinerea*. La transferencia de hidrógenos estabiliza los radicales libres generados durante el metabolismo del hongo, interrumpiendo la cadena de reacciones oxidativas necesarias para mantener su viabilidad (Carvajal Carvajal, 2019).

Por otro lado, la formación de enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de las moléculas antioxidantes y las proteínas o lípidos del hongo puede alterar la estructura de su membrana celular, comprometiendo su integridad y funcionalidad (Jiang, 2019). Además, la resonancia electrónica, característica de compuestos fenólicos, deslocaliza los electrones en el anillo aromático, lo que aumenta la estabilidad del sistema y permite generar especies químicamente reactivas que atacan directamente las estructuras del hongo, inhibiendo enzimas clave para su desarrollo, como celulasas y quitinasas (Jiang, 2019). Estos mecanismos actúan en conjunto para limitar la proliferación fúngica y proteger a las plantas hospedadoras.

No obstante, Venereo (2002) menciona que los radicales libres, particularmente las especies reactivas de oxígeno (ROS) como el oxígeno singlete, el peróxido de hidrógeno y el radical hidroxilo, causan daño celular al atacar macromoléculas esenciales como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. En los lípidos, este ataque inicia la peroxidación lipídica, que compromete la permeabilidad de las membranas celulares y conduce a la muerte celular, especialmente en estructuras ricas en ácidos grasos poliinsaturados (Venereo, 2002).



De manera análoga, este mismo principio es aprovechado en la acción antifúngica, donde los antioxidantes generan un estrés oxidativo selectivo que desestabiliza las membranas celulares del hongo *Botrytis cinerea*, comprometiendo su viabilidad. Además, mecanismos como la formación de enlaces de hidrógeno y la resonancia electrónica de los antioxidantes interfieren con las enzimas reparadoras del hongo, intensificando el daño oxidativo y reduciendo su capacidad de supervivencia. Así, los mismos procesos que hacen a los radicales libres dañinos para las células son estratégicamente utilizados para inhibir el desarrollo de organismos fúngicos patógenos.

## CONCLUSIÓN

Esta investigación ha dejado de manifiesto la necesidad de investigar, desarrollar e innovar en la generación de bioplaguicidas más eficientes y seguros. Los compuestos bioactivos de *Chlorella vulgaris* ofrecen un amplio espectro de posibilidades para el control de enfermedades fúngicas en cultivos. Futuras investigaciones podrían dirigirse hacia la identificación de nuevas especies de microalgas con potencial biofungicida, la optimización de las condiciones de cultivo para aumentar la producción de compuestos bioactivos y el desarrollo de formulaciones más estables y eficaces. Estos avances contribuirían a la transición hacia una agricultura más sostenible, reduciendo la dependencia de los pesticidas químicos y promoviendo la salud de los ecosistemas

No obstante, la identificación de nuevas especies de microalgas con potencial biofungicida, junto con la optimización de sistemas de cultivo para maximizar la producción de biomasa y compuestos bioactivos, es clave para avanzar en el desarrollo de bioplaguicidas más efectivos. Es esencial profundizar en los mecanismos de acción de estos compuestos, evaluar su impacto ambiental y su compatibilidad con otros productos agrícolas, y promover su uso en programas de manejo integrado de plagas. Asimismo, la transferencia tecnológica y la colaboración entre investigadores, agricultores e industrias son fundamentales para llevar



estas innovaciones al mercado, ofreciendo alternativas sostenibles y seguras a los pesticidas químicos tradicionales.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Chiriquí (UNACHI) por su apoyo al Programa de Maestría en Química con Énfasis en Inocuidad Alimentaria (MCQUIA), una iniciativa clave en la generación de recopilaciones literarias que contribuyen a la calidad educativa. Al Ph. D. Rubén Collante, por su invaluable guía, y a la Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT) por su respaldo y compromiso con el desarrollo científico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, I., Yuzir, A., Mohamad, S E., Iwamoto, K. & Abdullah, N. (2021). Role of Microalgae in Sustainable Energy and Environment. Purpose-Led. DOI 10.1088/1757-899X/1051/1/012059
- Ahmed, S., Kovinich, N. (2021) Regulation of phytoalexin biosynthesis for agriculture and human health. *Phytochem Rev* **20**, 483–505. <https://doi.org/10.1007/s11101-020-09691-8>
- Al Aboody, M. S., y Mickymaray, S. (2020). Eficacia antifúngica y mecanismos de los flavonoides. *Antibióticos*, 9(2), 45. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9020045>
- Asimakis, E., Shehata, A. A., Eisenreich, W., Acheuk, F., Lasram, S., Basiouni, S., Emekci, M., Ntougias, S., Taner, G., May-Simera, H., Yilmaz, M., & Tsiamis, G. (2022). Algae and Their Metabolites as Potential Bio-Pesticides. *Microorganisms*, 10(2), 307. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020307>
- Azadeh, Y., Liang, N., Foroutan, A., Gänzle, M., Strelkov, E y Nat N.V.Kav. (2021). Investigando el potencial de los ácidos grasos insaturados como agentes de protección de cultivos antifúngicos. *Revista Canadiense de Ciencias Vegetales*. **101**(1): 73-85. <https://doi.org/10.1139/cjps-2020-0113>
- Berthon, J.-Y., Michel, T., Wauquier, A., Joly, P., Gerbore, J., & Filaire, E. (2021). Seaweed and microalgae as major actors of blue biotechnology to achieve plant stimulation and pest and pathogen biocontrol – a review of the latest advances and future prospects. *The Journal of Agricultural Science*, 159(7–8), 523–534. doi:10.1017/S0021859621000885



- Bratchkova, A., & Kroumov, A. D. (2020). Microalgae as producers of biologically active compounds with antibacterial, antiviral, antifungal, antialgal, antiprotozoal, antiparasitic and anticancer activity. *Acta Microbiol Bulg*, 36(3), 79-89.
- Carvajal Carvajal, C. (2019). Especies reactivas del oxígeno: formación, función y estrés oxidativo. *Medicina Legal de Costa Rica*, 36(1), 91-100.
- Casanova, L. M., Macrae, A., de Souza, J. E., Neves Junior, A., y Vermelho, A. B. (2023). El potencial de los aleloquímicos de las microalgas para los biopesticidas. *Plantas*, 12(9), 1896. <https://doi.org/10.3390/plants12091896>
- Chai, W. S., Chew, C. H., Munawaroh, H. S. H., Ashokkumar, V., Cheng, C. K., Park, Y.-K., & Show, P. L. (2021). *Microalgae and ammonia: A review on inter-relationship. Fuel*, 303, 121303. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121303>
- Chauhan, A., Ranjan, A., Basniwal, R.K., Jindal, T. (2022). *Cytotoxic and Antibiotic Properties of Cyanobacterial Extracts. In: Jindal, T. (eds) New Frontiers in Environmental Toxicology. Springer, Cham.* [https://doi.org/10.1007/978-3-030-72173-2\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-72173-2_4)
- Correa, I., Drews, P., Botelho, S., de Souza, M. S., & Tavano, V. M. (2017). *Deep Learning for Microalgae Classification. 2017 16th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*. doi:10.1109/icmla.2017.0-183
- Costa, J. A. V., Freitas, B. C. B., Cruz, C. G., Silveira, J., & Morais, M. G. (2019). Potential of microalgae as biopesticides to contribute to sustainable agriculture and environmental development. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 54(5), 366–375. <https://doi.org/10.1080/03601234.2019.1571366>
- Dos, M., Ferreira, C., Dos, E., Zawadzki, F., Reschke, C., Bertolini, E., Pedrinho, R; Matias, R., Sauer, V. (2022) Uso de Microalgas en el Sector Agrícola y Agroindustrial. **Ensayos y Ciencia: Ciencias Biológicas, Agrarias y de la Salud**, [S. l.], v. 26, n. 2, p. 164–170. DOI: 10.17921/1415-6938.2022v26n2p164-170.
- Fernandez-San Millan, A., Gamir, J., Larraya, L., Farran, I., & Veramendi, J. (2022). Towards understanding of fungal biocontrol mechanisms of different yeasts antagonistic to *Botrytis cinerea* through exometabolomic analysis. *Biological Control*, 174, 105033. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.105033>
- Gabriel-Ortega, J., Chonillo Pionce, P., Narváez Campana, W., Fuentes Figueroa, T., & Ayón Villao, F. (2022). Evaluación de cuatro bioestimulantes en la inducción de la resistencia sistémica en pepino (*Cucumis sativus* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) en monocultivo y cultivo asociado en invernadero. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 13(2), 69-79. <https://doi.org/10.36610/j.jsars.2022.130200069>



- Goiris, K., Muylaert, K., Voorspoels, S., Noten, B., De Paepe, D., E Baart, G. J., & De Cooman, L. (2014). *Detection of flavonoids in microalgae from different evolutionary lineages*. *Journal of Phycology*, 50(3), 483–492. <https://doi.org/10.1002/cbdv.202401445>
- Gonçalves, A. L. (2021). El uso de microalgas y cianobacterias en la mejora de las prácticas agrícolas: una revisión de sus funciones de biofertilización, bioestimulación y biopesticida. *Ciencias Aplicadas*, 11(2), 871. <https://doi.org/10.3390/app11020871>
- Hezakiel, H.E., Thampi, M., Rebello, S. *et al.* Biopesticidas: un enfoque ecológico hacia las plagas agrícolas. *Appl Biochem Biotechnol* **196**, 5533–5562 (2024). <https://doi.org/10.1007/s12010-023-04765-7>
- Bi, K., Liang, Y., Mengiste, T., & Sharon, A. (2023). Killing softly: a roadmap of Botrytis cinerea pathogenicity. *Trends in plant science*, 28(2), 211-222.
- Jiang, L., Yang, J., Wang, Q., Ren, L., & Zhou, J. (2019). Physicochemical properties of catechin/ $\beta$ -cyclodextrin inclusion complex obtained via co-precipitation. *CyTA - Journal of Food*, 17(1), 544–551. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1612948>
- Jiménez, C. I. E., Martínez, E. Y. C., & Fonseca, J. G. (2009). Flavonoides y sus acciones antioxidantes. *Rev Fac Med UNAM*, 52(2), 73-5.
- Kumar, J., Ramlal, A., Mallick, D., Y Mishra, V. (2021). Una visión general de algunos biopesticidas y su importancia en la protección de las plantas para la aceptación comercial. *Plantas*, 10(6), 1185. <https://doi.org/10.3390/plants10061185>
- Kumar S & Singh A (2015) Biopesticides: Present Status and the Future Prospects, *J Fertil Pestic* 6: e129. <http://dx.doi.org/10.4172/jbfbp.1000e129>
- Liang, Y., Bi, K., & Sharon, A. (2024). The Botrytis cinerea transglycosylase BcCrh4 is a cell death-inducing protein with cell death-promoting and-suppressing domains. *Plant, Cell & Environment*, 47(1), 354-371. <https://doi.org/10.1111/pce.14740>
- Llopiz, A. (2016). Compuestos bioactivos aislados de cianobacterias y microalgas: propiedades y aplicaciones potenciales en la biomedicina. *Bionatura*, 1(2), 79-87. DOI. 10.21931/RB/2016.01.02.8
- Mantzorou, A., & Ververidis, F. (2018). Microalgal biofilms: A further step over current microalgal cultivation techniques. *Science of The Total Environment*. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.09.355 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.355>
- Malvestiti, M. C., Steentjes, M. B., Beenen, H. G., Boeren, S., van Kan, J. A., & Shi-Kunne, X. (2022). Analysis of plant cell death-inducing proteins of the necrotrophic fungal pathogens Botrytis squamosa and Botrytis elliptica. *Frontiers in Plant Science*, 13, 993325. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.993325>



- Meena, M., Samal, S., 2019. Alternaria host-specific (HSTs) toxins: an overview of chemical characterisation, target sites, regulation and their toxic effects. *Toxicol. Rep.* 6, 745–758. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2019.06.021>
- Mendoza, M. S., Santiago, L. V., Islas, A. A., Villanueva, R. A., Hernández, S. A., & Guillén, J. C. (2024). Evaluación del efecto de *Gloeocapsopsis crepidinum* (Thuret) sobre el crecimiento de *Salmonella* sp., *Escherichia coli* y *Fusarium oxysporum*. *Ciencia e Ingeniería: Revista de investigación interdisciplinaria en biodiversidad y desarrollo sostenible, ciencia, tecnología e innovación y procesos productivos industriales*, 11(2), 3. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.12809591>
- Mol, I., & Purushothaman, T. (2020). Micro-algae as bio-pesticides for the development of sustainable agriculture. *Wide Spectrum*, 8(6).
- Salehi, B., Venditti, A., Sharifi-Rad, M., Kręgiel, D., Sharifi-Rad, J., Durazzo, A., Lucarini, M., Santini, A., Souto, E. B., Novellino, E., Antolak, H., Azzini, E., Setzer, W. N., & Martins, N. (2019). The Therapeutic Potential of Apigenin. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(6), 1305. <https://doi.org/10.3390/ijms20061305>
- Sánchez, P. D. (Enero – Diciembre 2019). La resistencia de las plagas y enfermedades ante el control convencional y la búsqueda de alternativas de biocontrol. *Tierra Infinita* (5), 234-243. <https://doi.org/10.32645/26028131.975>
- Schmid, B., Coelho, L., Schulze, P. S., Pereira, H., Santos, T., Maia, I. B., ... & Varela, J. (2022). Antifungal properties of aqueous microalgal extracts. *Bioresource Technology Reports*, 18, 101096. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101096>
- Robles-Yerena, L., Rodríguez-Mendoza, J., Santoyo, G., Ochoa-Alvarado, X. I., Medina-Estrada, R. I., Jiménez-Mejía, R., & Loeza-Lara, P. D. (2022). Identificación filogenética de hongos aislados de frutas de fresa y papaya y su susceptibilidad a los ácidos grasos. *Revista Canadiense de Patología Vegetal*, 44(6), 828–835. <https://doi.org/10.1080/07060661.2022.2084457>
- Ron, M., Avni, A. (2004). El receptor del exilansa inductor de etileno del exilano fúngico es miembro de una familia de genes similares a la resistencia en el tomate. *Plant Cell* 16 (6), 1604–1615. doi: 10.1105/tpc.022475
- Ordoñez-Beltrán, V., Frías-Moreno, M. N., Parra-Acosta, H., & Martínez-Tapia, M. E. (2019). Estudio sobre el uso de plaguicidas y su posible relación con daños a la salud. *Revista de toxicología*, 36(2), 148-153. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91967023011>
- Otálora, P., Guzmán, J. L., Ación, F. G., Berenguel, M., & Reul, A. (2021). *Microalgae classification based on machine learning techniques*. *Algal Research*, 55, 102256. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2021.102256>



- Patlán, M. J. (2017). Tratamientos postcosecha con microondas en uvas para el control del moho *Botrytis cinerea*.
- Tipaz-Tipaz, E., Restrepo-Burgos, C., Solarte-Niquinas, P., Mena-Guerrero, N., (2019). Caracterización fitoquímica de las hojas de *Phytolacca americana* y determinación de su potencial antifúngico. *Informador Técnico*, 84(1), 18-34. <https://doi.org/10.23850/22565035.180>
- Venereo Gutiérrez, Justo R. (2002). Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 31(2), 126-133. Recuperado en 27 de diciembre de 2024, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0138-65572002000200009&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0138-65572002000200009&lng=es&tlng=es)
- Vicente-Vicente, L., Prieto, M., & Morales, A. I. (2013). Eficacia y seguridad de la quercetina como complemento alimenticio. *Revista de Toxicología*, 30(2), 171-181.
- Wurms, K. V., Ah Chee, A., Wood, P. N., Taylor, J. T., Parry, F., Agnew, R. H., Hedderley, D., & Elmer, P. A. G. (2021). Lipid-Based Natural Food Extracts for Effective Control of Botrytis Bunch Rot and Powdery Mildew on Field-Grown Winegrapes in New Zealand. *Plants*, 10(3), 423. <https://doi.org/10.3390/plants10030423>
- Xu, X., Gu, X., Wang, Z., Shatner, W., & Wang, Z. (2019). Progress, challenges and solutions of research on photosynthetic carbon sequestration efficiency of microalgae. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 110, 65-82. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.04.050>
- Yang, Y., Yang, X., Dong, Y., Qiu, D. (2018) La *botrytis cinerea* xilanasas BcXyl1 modula la inmunidad de las plantas. *Frente. Microbiol.* 9, 2535. doi: 10.3389/fmicb.2018.02535
- Yu, Z., Hong, Y., Xie, K. y Fan, Q. (2022). Avances de la investigación sobre los beneficios fisiológicos y farmacológicos de las biomoléculas derivadas de las microalgas. *Alimentos*, 11(18), 2806. <https://doi.org/10.3390/foods11182806>
- Zhu, W., Ronen, M., Gur, Y., Minz-Dub, A., Masrati, G., Ben-Tal, N., et al. (2017). BcXYG1, una xiloglucanasa secretada de *Botrytis cinerea*, desencadena tanto la muerte celular como las respuestas inmunitarias de las plantas. *Planta Physiol.* 175 (1), 438-456. doi: 10.1104/pp.17.00375
- Zuccaro, G., Yousuf, A., Pollio, A., & Steyer, J. P. (2020). Microalgae cultivation systems. *Microalgae cultivation for biofuels production*, 11-29. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817536-1.00002-3>